Journal of the Korean Society of Water and Wastewater
Vol. 16, No. 6, pp. 733-740, 2002

상하수도학회지, 논문
16권 6호, pp. 733-740, 2002

하수슬러지의 산과 초음파 처리에 따른 ECP(*exocellular polymers*)의 거동이 탈수성과 침강성에 미치는 영향

Effects of ECP (*exocellular polymers*) Changes to the Dewaterability and Settlability of Wastewater Sludge Pretreated by Acid and Ultrasonic

황선진* · 정규호 · 황규대

Hwang, Sun-Jin* · Jeong, Kyu-Ho · Whang, Gye-Dae

경희대학교 환경 · 응용화학대학 및 환경연구센터

(2002년 9월 6일 접수, 2002년 11월 25일 최종수정논문 채택)

Abstract

The effects on dewaterability and settlability of wastewater sludge according to acid and ultrasonic pretreatment which was expected to change ECP (*exocellular polymers*) compounds in the sludge and bulk solution was investigated. Though ECP which attached to the sludge could stimulate coagulation of sludge particles by bridging effect, but ECP in the bulk solution deteriorated dewaterability and settlability of the sludge on the contrary. That is as the pH of the solution was decreased to 3 gradually by acid treatment, proportionally ECP in the bulk solution was attached to the sludge flocs and resulted in improvement of dewaterability and settlability of the sludge. In case of ultrasonic pretreatment, with proportional to the intensity and duration of ultrasonic application, ECP was detached and extracted from sludge flocs and these phenomena deteriorated dewaterability and settlability. Also because of the increasement of minute sludge particles according to ultrasonic, dewaterability became so much the worse.

Key words: dewaterbility, wastewater sludge, pretreatment, ECP
주제어: 탈수성, 하수슬러지, 전처리, ECP

1. 서론

하수처리에 있어 탈수케익은 중력농축, 혐기성소화 그리고 벨트프레스 등의 탈수처리 공정을 거쳐 약 75-80%의 함수율을 가진 상태로 발생되고 있으며, 2000년 현재 연간 약 174만 톤이 발생하고 있다(하수도통계, 2001). 정부가 추진하고 있는 '물관리 종합대책'에 따라 2001년부터 2005년까지 총 320개의 하수처리장이 건설될 예정으로 모두 운영될 경우, 연간 약 270만 톤을 상회하는 하수슬러지가 발생할 것으로 예상된다.

이러한 하수슬러지는 지금까지 주로 단순매립과

*Corresponding author Tel.: +82-31-201-2497, Fax: +82-31-203-4589, E-mail: sjhwang@khu.ac.kr (Hwang, S.J.)

해양투기에 의존하여 처리해 왔다. 하지만 슬러지의 단순매립은 매립지 부족, 2차 오염유발, 슬러지 매립 후 분해에 의한 악취, 침출수 발생, 해충 등의 문제점을 가지고 있다. 또한, 1997년 개정된 폐기물 관리법에 의해 2003년부터 슬러지의 직매립이 금지되어 그 처리에 있어 더 이상 매립에 의존하기 어려워질 것으로 예상된다. 해양투기 역시 2차 오염문제로 인해 강화된 런던협약(1996) 등에 의해 그 투기량을 향후 줄여나가야 하는 추세이므로 매년 발생량이 증가하고 있는 슬러지 처리문제는 매우 심각하다고 할 수 있다.

따라서, 최근 하수슬러지의 소각 및 재활용 등의 방법이 폭넓게 검토되고 부분적으로 실행되고 있으나, 기존의 처분방법들에 비해 비용이 상당히 많이 소요된다는 경제적인 문제점 때문에 그 적용에 있어 많은 현실적 제약을 받고 있다. 탈수슬러지의 함수율은 소각 및 재활용 등에 있어 처리비용을 결정하는 가장 중요한 요소중의 하나로, 함수율의 저감은 곧 경제성과 직결된다고 할 수 있다. 이에 따라 최근에 슬러지의 탈수성 개선에 대한 연구가 활기를 띠고 있다.

슬러지중의 ECP(*exocellular polymers*)란, 슬러지의 탈수성에 영향을 미치는 물질로 여겨지는데, 여러 종류의 박테리아들과 고분자 물질, 무기염, 세포 파괴물(cell debris) 등으로 구성된 슬러지 플록 중에서 특히, 세포 파괴물 및 고분자 유기물 등을 의미한다. **Fig. 1**은 슬러지 플록의 구성물질 및 결합형태를 나타낸 개념도이다. ECP는 플럭 형성과정에 있어 가교역할을 하는 것으로 알려져 있으며, 주요 구성 성분으로는 protein, carbohydrate(polysaccharide), DNA, RNA, lipid 등이다. Pavoni 등(1972)은 활성슬러지의 박테리아를 배양하여 ECP와 미생물과의 질량 상관관계를 연구하였는데, 그의 보고에 따르면, ECP의 양은 미생물의 성장단계에 따라 약 5-40%의 변화를 나타내며, 60시간 배양 후 ECP의 구성비는 polysaccharide 40%, protein 17%, RNA 20%, DNA 17%, 약간의 미량 유기물질 등이라고 기술하였다. 또한, 네 가지 주요 구성성분의 비는 미생물이 섭취하는 기질에 따라 변한다는 보고도 있다.

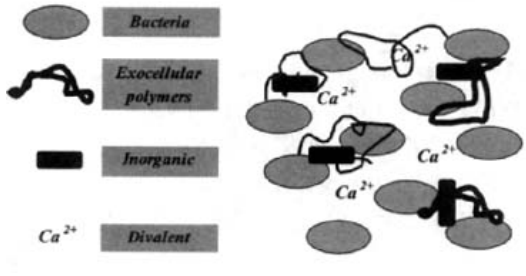

Fig. 1. The concept of ECP in the wastewater sludge floc.

이러한 ECP는 hydroxyl과 carboxyl과 같은 수많은 작용기를 가지고 있으며, protein-polysaccharide 반응, hydrophobic 반응, hydrogen 결합과 이온간의 반응 등을 통하여 슬러지 플록의 결합을 유도할 수 있게 한다. 슬러지 플록은 전체적으로 음으로 하전되어 있으므로 다가 양이온은 플록의 안전성에 중요한 역할을 수행하고, ECP 물질들 사이에 carboxyl과 hydroxyl 작용기들의 결합에 의한 가교를 형성한다(Steiner 등, 1976). 다가 양이온은 복합체를 형성할 수 있고, ECP 물질들과 박테리아 작용기들 사이에서 이온공유를 형성할 수 있다.

플럭 내부에 존재하는 ECP의 양은 슬러지 플럭의 크기, 침강성, 탈수성과 관련이 있으며 그 상호관계를 정량화하려는 연구들도 많이 보고되었다. Beccari 등(1980)은 침강성이 나쁜 슬러지일수록 ECP의 양이 작은 것으로 보고하고 있으며, Kato 등(1971)은 proteinase, cellulase, pectinase 등의 활성이 증가할수록 슬러지 플록의 해체현상이 일어난다고 보고하였다. Parker 등(1972)은 슬러지의 호기성 안정화 과정에서 여액 중 protein 농도가 최소가 될 때 여과비저항이 최소가 된다고 보고하여 슬러지의 탈수성과 관련이 있음을 보고하였다.

이에 본 연구에서는 산과 초음파를 적용하여 하수처리시 발생되는 농축슬러지의 탈수효율 증가를 유도할 수 있는 전처리 조건을 ECP의 거동을 통하여 알아보았고, 이러한 ECP의 거동이 슬러지의 탈수성에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

2. 실험 방법

2.1. 시료

본 연구에서 사용된 농축슬러지는 경기도 S-하수처리장에서 채취하였는데, pH 6.4-6.8, 총고형분

(TS) 2.2-5.2%, 총고형분중의 휘발성 고형분(VS) 63-65%인 S-하수처리장 2차침전조의 농축슬러지를 채취한 후, pH 6.4(control), 고형물 함량(TS) 0.5%로 조정하여 실험에 사용하였다.

2.2. 산처리

비이커에 TS 0.5%로 조정된 슬러지 100ml를 넣어 교반시키며, 5N H_2SO_4 용액과 5% NaOH 용액으로 pH 6.4(control)인 시료를 pH 3, 4, 5, 6, 7로 각각 조정한 후 교반기를 이용하여 동일한 속도로 약 10분간 교반하여 분석대상 시료로 사용하였다. 또한, TS 0.5% 슬러지를 GF/C 여지를 사용하여 여과한 여액 100ml에 대해서도 같은 방법으로 산처리를 실시하였는데, 여과한 여액시료를 만들어 실험에 사용한 이유는 시료중에 TS로서의 슬러지가 포함되어 있는 경우와 포함되어 있지 않고 여액만 존재하는 경우로 나누어 산처리를 실시하고자 하는 목적 때문이다. 즉, 산처리가 슬러지가 포함된 현탁액에 미치는 영향과 여액만 존재할 경우에 미치는 영향을 구분하기 위해서였다.

2.3. 초음파처리

초음파처리는 최대출력 100W, 진동수 20kHz 사양의 초음파발생기(60-Sonic Dismembrator, Fisher Scientific, USA)를 사용하였다. 네 개의 비이커에 TS 0.5%로 조정된 슬러지 200ml를 주입하고 적당한 속도로 교반을 실시하면서, 0.1W/ml, 0.2W/ml, 0.3W/ml, 0.4W/ml의 강도로 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60분간 초음파를 조사시켰다. 또한 여과하여 여액만 취한 시료 200ml에 대해서는 0.2W/ml의 강도로 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60분간 같은 방법으로 초음파를 조사시켰다. 분석용 시료는 각 처리시간마다 일정량을 비이커에서 직접 채취하여 사용하였다.

2.4. ECP 분석

ECP 분석은 슬러지 여액중의 ECP에 대하여 실시하였는데, ECP 구성물질 중 주요성분인 protein과 carbohydrate를 분석대상으로 삼았다. 산 또는 초음파 처리된 시료를 원심분리기(Mega 17R, Hanil Co., Korea)를 사용하여 15,000rpm으로 5분간 회전시켜 고액분리시킨 후, 상등액만을 GF/C 여지를 이용해 여과한 여액을 ECP 분석시료로 사용하였다.

Protein은 BSA(*Bovine Serum Albumin*: Sigma, Germany)를 standard로 사용하며, 5×radford 시약을 시료중에 첨가하여 암모니아기를 염색시켜 585mm에서 정량화(UV-visible spectrometer, Shimadzu, Japan)하는 'Bradford 분석법'을 따랐고, carbohydrate는 glucose를 standard로 사용하며, 5%-phenol aqueous solution과 sulfuric acid를 시료 중에 첨가하여 492mm에서 정량화하는 'Phenol-sulfuric acid 분석법'에 따라 분석하였다.

2.5. CST

탈수성 평가를 위하여 본 실험에서는 CST(capillary suction time) 측정장치(Type 304B, Triton Electronics Co., England)를 사용하였다. CST는 원래 슬러지의 여과성을 측정하기 위하여 제작된 장치이지만, 측정이 매우 간단하고 신속하여, 일반적으로 슬러지의 탈수성 평가를 위한 Buchner funnel 여과비저항의 측정결과와 함께 사용되며, 일반적으로 CST 값이 낮을수록 슬러지의 탈수성은 개선된다고 평가할 수 있다. CST는 주입구에 시료를 약 5ml를 넣었을 때 수분이 filter paper를 통과하여 test head에 접촉되는 시간을 측정한다. 즉, 일정거리의 filter paper에 대하여 수분이 모세관현상에 의해 빠져나가는 속도를 시간(sec)으로써 나타낸 지표이다 (**Fig. 2** 참조).

2.6. 계면높이(Interfacial Height)

슬러지의 침강성을 알아보기 위하여 산 또는 초

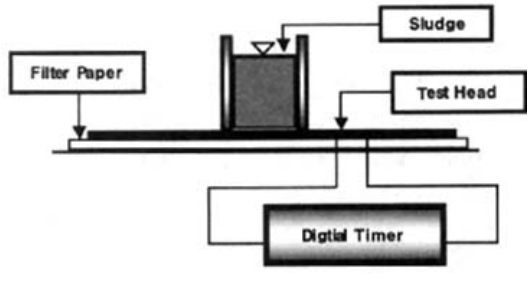

Fig. 2. The schematic diagram of CST apparatus.

음파로 전처리된 슬러지 100ml를 메스실린더에서 1시간 침강시킨 후, 계면높이를 측정하였다. 일반적으로 슬러지의 침강성 테스트를 위하여 슬러지 1*l*를 30분간 침강시킨 후 SVI(Sludge Volume Index)를 측정하나, 본 연구에서는 침강성을 보다 확실히 알아보기 위하여 1시간을 정치시킨 후 침강전후의 고액계면의 높이를 비교하여 그 차를 퍼센트로 나타내는 방법을 채택하였다.

2.7. 입경 분석

슬러지의 입경분석은 광산란 입도분석법 중, 산란광의 변동을 측정한 후 프라우호퍼 회절을 이용하는 방법(Laser diffraction)을 사용하였다. 즉, 전처리된 시료를 증류수로 희석하여 완전교반한 후, 검출범위 0.0582-878.675μm인 입경분석기(Mastersizer, Malvern Instrument Co., England)를 사용하여 분석을 실시하였다. 0.1 NTU 표준용액으로 영점을 맞춘 후, 측정 대상입자 전체 볼륨의 50%(v/v)일 때의 입경인 D50 그리고 Novak 등(1988)이 활성슬러지 탈수에 있어 케이크에 의한 폐색현상이 일어나는 크기로 제시한 40μm 이하 입경의 볼륨인 V40(v/v)을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 슬러지 여액 중 ECP 농도와 탈수성과의 관계

Fig. 3은 전처리를 하지 않은 상태에서 슬러지 여액 중 ECP의 농도에 따른 슬러지의 탈수성과 침강성의 변화를 나타내었다. ECP의 농도는 protein과 carbohydrate를 이용하여 아래의 **Table 1**과 같이 조제하였다.

그 결과, 그림에서 보는 바와 같이 슬러지 여액 중 T-ECP의 농도가 25mg/*l*일 때 CST는 310sec, interfacial height는 25%이었으나, T-ECP의 농도가 최대였던 100mg/*l*의 경우 CST는 419sec, interfacial height는 27%로 나타나, 침강성은 다소 악화되나 큰 차이가 없고, 탈수성은 많이 악화되는 결과를 얻었다. 따라서 하수슬러지 여액중의 ECP 농도를 낮춤으로서 슬러지의 탈수성이 크게 개선된다는 사실을 알 수 있었다.

3.2. 슬러지의 산처리에 따른 영향

3.2.1. ECP의 변화

아래의 **Fig. 4**는 산에 의한 슬러지 처리(SF)와 슬러지를 제외한 여액만을 산으로 처리(F)했을 경우의 여액 중 ECP 농도변화를 나타내고 있는데, ECP 측정값들은 기존에 발표된 슬러지에서의 ECP 분석값들과 비슷한 수준의 값을 보였다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬러지에 산을 주입함에 따라 여액 중 ECP의 농도가 감소하였다. 즉, control로 사용된 pH 6.4인 슬러지의 여액 중 protein 농도는 7.3mg/*l*이었으나, pH 3에서의 농도는 1.4mg/*l*까지 약 80%가 감소하였고, carbohydrate의 경우 control인 pH 6.4에서 17.1mg/*l*이던 carbohydrate의 농도가 pH 3에서 10.4mg/*l*까지 약 40% 감소하였다. 따라서 슬러지를 산처리함에 따라 여액 중 ECP의 농도는 빠른 속도로 감소하는 것을 알 수 있었다. 참고로 같은 control(pH 6.4)에 대해 같아야 할 protein 및

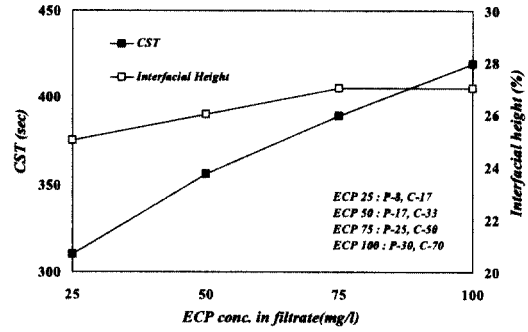

Fig. 3. CST and interfcial height variations according to the concentration of ECP in the sludge filtrate.

Table 1. ECP compounds composed of protein and carbohydrate

Notation	*T-ECP	**Protein	***Carbohydrate
ECP-25	25	8	17
ECP-50	50	17	33
ECP-75	75	25	50
ECP-100	100	30	70

*Concentration of Total ECP (= P + C) [mg/l]
**Concentration of Protein [P] [mg/l]
***Concentration of Carbohydrate [C] [mg/l]

상하수도학회지. 논문
16권 6호. pp. 733-740. 2002

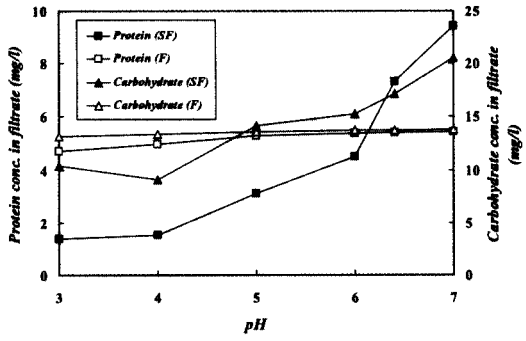

Fig. 4. Protein and carbohydrate variations of sludge according to pH (SF: when sludge treated with acid, F: when only filtrate treated with acid)

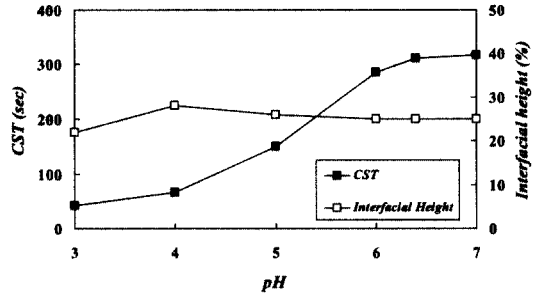

Fig. 5. CST and interfacial height variations according to the pH of sludge.

carbohydrate의 농도가 서로 다른 것은 실험에 사용한 시료가 완전히 동일하지 못하였기 때문이다.

산에 의한 슬러지 처리시 여액 중 ECP의 농도가 감소될 수 있는 경우는 크게 두 가지인데, 하나는 산에 의해 ECP가 산화 · 변형되는 것이고, 다른 경우는 ECP가 슬러지에 부착되는 경우를 생각해 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ECP가 제거되는 기작을 확인하기 위하여 슬러지를 제외한 여액만을 산처리하여 ECP의 변화를 측정하였는데, **Fig. 4**에 나타난 바와 같이 슬러지 여액만을 산처리한 경우는 ECP의 농도변화가 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과로부터 슬러지를 산처리함에 따른 여액 중 ECP 감소의 원인이 위에서 첫 번째로 제시한 슬러지의 산화 또는 변형이 아니라, 산처리에 따라 용액중의 ECP가 슬러지로 부착되기 때문이라는 두 번째 이유에 의한 것임을 확인 할 수 있었다.

본 조사에서는 실험을 통하여 확인하지는 못하였지만, 문헌에 의하면 pH 저하에 따라 ECP가 슬러지에 부착되는 거동과 탈수 및 침강성 향상원인으로는 pH 저하로 제타전위(zeta potential)차가 줄어 여액중의 ECP와 플럭 또는 플럭중의 ECP가 가교(bridging)하는 경우, 혹은 pH 저하로 2가 양이온 금속이 용출되어 가교현상을 돕는 가능성을 원인으로 생각해 볼 수 있다. 이에 관하여는 향후에 좀 더 구체적으로 조사가 될 필요가 있다고 본다.

3.2.2. 탈수성 및 침강성의 변화

Fig. 5는 슬러지 산처리시의 탈수성 및 침강성의 변화를 나타낸 그림이다. 슬러지를 산처리함에 따라 CST가 감소하여 탈수성이 개선되는 것을 알 수 있었다. Control로 사용된 pH 6.4 슬러지의 CST는 310sec였으나, 산처리하여 pH를 3까지 조정한 경우는 CST가 42sec까지 낮아져 탈수성이 크게 향상되었으며, 반면 슬러지의 pH를 7로 조정한 경우는 316sec로 높아져 탈수성이 다소 악화되는 것을 알 수 있었다.

침강성의 경우에는 산을 주입함에 따라 pH 4까지는 계면 높이가 완만하게 증가하다가 pH 4 이후 다시 낮아지면서 침강성이 다소 개선되었으나, 뚜렷한 변화라고는 보기 어려웠다. Christensen 등(1993)은 침강성이 나쁜 슬러지의 경우 상등액의 탁도가 개선된다고 하였는데, 그 이유는 침강하는 슬러지에 의해 다량의 콜로이드가 제거되기 때문이라고 보고하였다. 따라서 본 연구에서 pH 4인 슬러지의 침강성이 악화되는 원인은 다른 pH 범위보다 콜로이드 성분이 높게 제거되었기 때문이라 판단된다.

3.2.3. 입경 변화

Fig. 6은 슬러지의 산처리시 입도의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 슬러지의 산처리시 입경의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 즉, 전반적으로 D_{50}은 약 55μm, V_{40}은 약 37%를 나타내고 있어 슬러지 산처리시의 입경변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에 사용된 입경분석기가 증류수로 희석하여 완전교반을 시키면서 입경분석을 실시하기 때문에 충돌 등에 따른 미세입자의 증가는 분석결과에 잘 반영되는

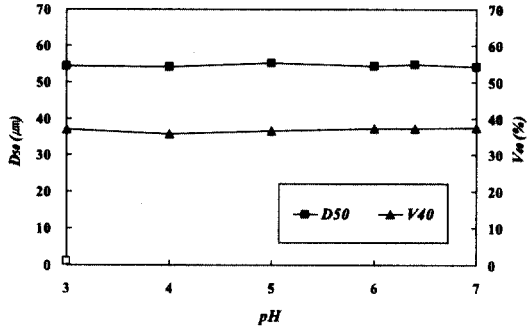

Fig. 6. The variations of particle size distribution represented by D_{50} and V_{40} according to the pH of sludge.

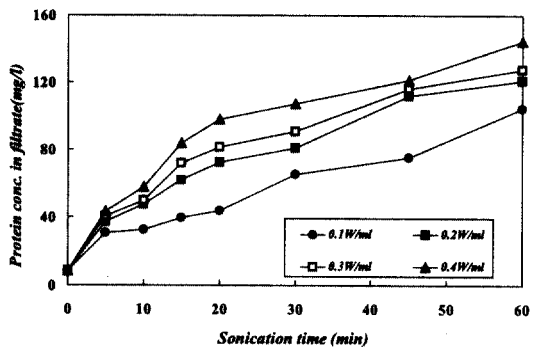

Fig. 7. The variations of protein concentration in the filtrate according to sonification intensity and time.

반면, ECP의 가교작용 등에 의한 입자의 응집에 따른 입경증가에 대한 가능성은 측정원리상 본 방법으로는 잘 잡히지 않아 분석결과에 대한 신뢰성에 의문이 제기되었다.

3.3. 슬러지의 초음파처리에 대한 영향

3.3.1. ECP의 변화

Fig. 7은 슬러지 현탁액에 초음파를 조사하였을 경우의 여액 중 protein의 변화를 나타내고 있다. 초음파 조사강도(0.1-0.4W/ml)와 조사시간의 증가(최대 1hr)에 따라 초기에 약 10mg/*l*이던 슬러지 여액중의 protein 농도는 0.4W/ml 강도로 1시간 초음파를 조사할 경우, 140mg/*l*로 약 14배나 지속적으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8에 초음파 조사에 따른 슬러지 중 carbohydrate의 변화를 나타내었다. Protein의 변화와 유사하게 조사강도 및 시간의 증가에 따라 여액 중 carbohydrate의 농도는 최대 10배 가까이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 9는 슬러지를 제외한 여액에 초음파를 조사하였을 경우의 ECP 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이, 슬러지 여액에 0.2W/ml의 강도로 초음파를 조사했을 경우 여액중의 ECP 양은 protein 8mg/*l*, carbohydrate 13.5mg/*l*로 거의 일정하여 초음파 조사에 따른 ECP의 변화는 거의 미미한 것을 알 수 있었다. 따라서 상기 수준 정도의 초음파를 슬러지 현탁액에 조사할 경우 발생하는

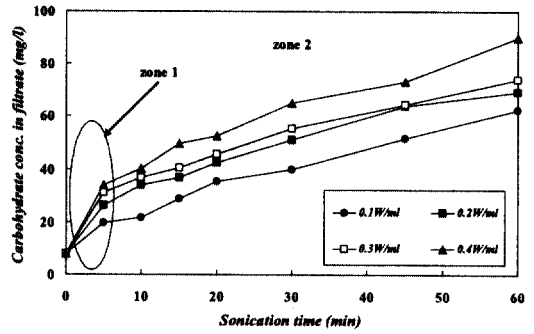

Fig. 8. The variations of carbohydrate concentration in the filtrate according to sonification intensity and time.

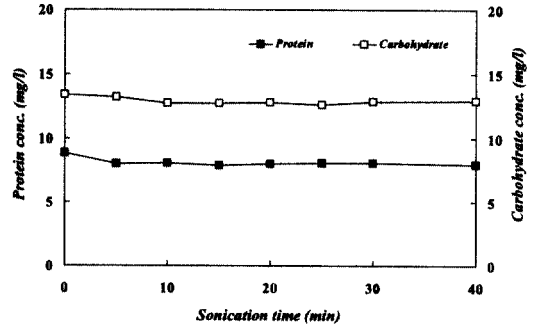

Fig. 9. The variations of protein and carbohydrate concentration in the filtrate according to sonification intensity and time.

ECP의 증가분은 순수하게 고형물로서의 슬러지로부터 기인한다는 사실을 확인할 수 있었다.

3.3.2. 입경 변화

Fig. 10은 초음파 조사에 따른 슬러지 입도의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 초기 약 5분간은 조사강도에 크게 관계없이 모두 슬러지의 입경이 급격히 감소하다가 10분 이후부터 조사강도에 따른 다소의 입경차이(≒D50)를 유지하면서 그 속도가 완만 또는 거의 일정해지는 것을 알 수 있다. 따라서 **Fig. 7-10**의 결과로부터 슬러지 여액중의 ECP가 증가되는 요인은 초음파 조사에 의해 슬러지에 부착, 내포되어 있던 ECP가 슬러지 입자의 미세화 과정에서 탈리 및 더 나아가 용출된 것으로 판단된다.

3.3.3. 탈수성 및 침강성 변화

Fig. 11은 슬러지에 초음파를 조사한 경우의 CST 변화이다. 그림에서 보는 바와 같이 초음파 조사강도와 조사시간에 따라 CST는 빠른 속도로 증가하여 탈수성이 상당히 악화되는 것을 알 수 있다. 즉, CST는 조사강도에 관계없이 초기 약 5분까지 급격히 증가하다 그 이후 60분까지 서서히 증가하는 것을 알 수 있었다.

ECP의 변화를 나타낸 **Fig. 7**, **8**과 입도의 변화, 즉 D_{50}의 변화를 나타낸 **Fig. 10**은 모두 CST의 변화를 나타낸 **Fig. 11**과 마찬가지로 초기 5분간의 초음파 조사시간을 zone-1 그리고 5분 이후부터 60분까지의 조사시간을 zone-2로 나눌 수 있다. Zone-1에서 CST의 급속한 증가를 유발한 주요 원인은 **Fig. 10**에서 알 수 있듯이 초기에 급격히 감소하는 입경변화에 의한 것이라 판단된다. 여액 중 ECP 증가에 기인한 부분도 있으리라 보이지만, 입경이 급격하게 감소되는 원인에 비하면 매우 미미할 것이라 판단된다. 반면, zone-2에서는 입경의 감소는 둔화되지만, 여액 중 ECP는 고농도로 계속 증가하고 있는 결과로부터 여기서의 CST 증가는 주로 여액 중 ECP의 증가에 의한 것이라 판단된다. 따라서 초음파 조사시 슬러지의 탈수성은 입경의 감소, 여액중의 ECP 증가가 초음파 조사시간에 대해 서로 다른 비중으로 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

Fig. 12는 초음파 조사에 따른 슬러지 침강성의 변화이다. 초기, 약 30% 정도를 나타내던 계면높이는 조사시간 10분까지 급속히 빠른 속도로 증가하여 80-90%를 나타내었고, 약 45분 이후로는 조사강도와 조사시간에 관계없이 94%를 나타내어 침강성이 상당히 악화됨을 알 수 있었다. 그러나 pH는 시종일관 거의 변화가 없이 6.5 정도를 유지하였다.

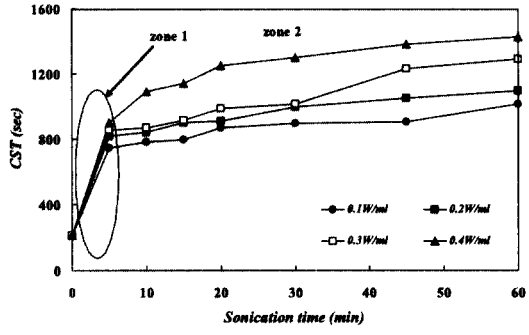

Fig. 11. CST variations of sludge according to the sonification intensity and time.

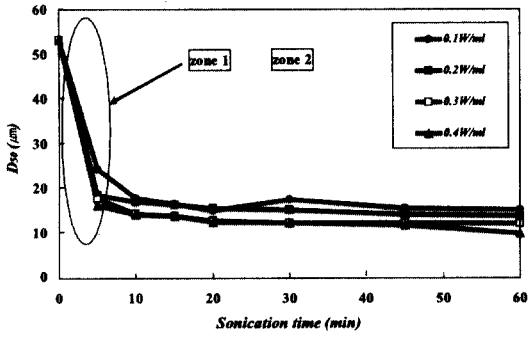

Fig. 10. The variations of particle size distribution according to sonification intensity and time.

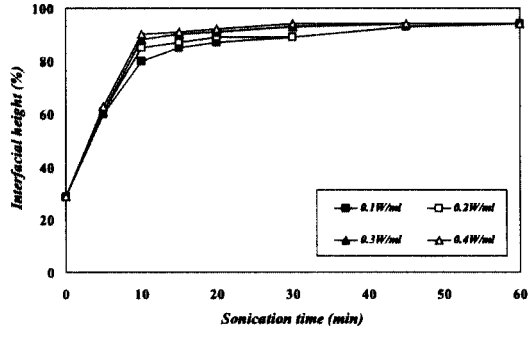

Fig. 12. Interfacial height variations according to the sonification intensity and time.

4. 결론

하수슬러지의 산과 초음파에 의한 전처리가 슬러지 고형물 및 현탁액중의 ECP 거동에 미치는 영향과 이러한 ECP의 거동이 슬러지 탈수성 및 침강성 등에 미치는 영향에 대하여 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬러지에 부착되어 있는 ECP는 가교역할에 의해 입자의 응집을 유도할 수 있지만, 여액중에 존재하는 ECP 농도의 증가는 오히려 슬러지의 탈수성 및 침강성을 악화시킨다.

2. 슬러지를 산처리함에 따라 여액중의 ECP 농도가 감소하는 사실과 여액만을 산처리 할 때 감소되는 ECP의 양이 거의 미미하다는 사실로부터 산에 의한 슬러지 전처리시 ECP는 슬러지로 이동하여 부착한다는 사실을 확인할 수 있었다.

3. 슬러지의 초음파 처리시 여액중의 ECP 농도가 증가함을 알 수 있었고, 슬러지의 여액만을 초음파 처리시 감소되는 ECP의 양 역시 거의 미미한 사실로부터 ECP의 증가분은 순수하게 슬러지로부터 기인함을 알 수 있었다.

4. 전처리 방법에 따른 CST와 interfacial height의 측정 및 상기의 ECP 해석결과, 산처리에 의해 슬러지의 탈수성 및 침강성은 모두 상당히 개선됨을 알 수 있었고, 초음파 처리에 의해 탈수성 및 침강성은 모두 상당히 악화됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 안산환경기술개발센터의 2002년도 연구개발사업 연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

Beccari, M., Mappelli, P. and Tandoi, V. (1980) Relationship between Bulking and Physicochemical-Biological Properties of Activated Sludge, *Biotechnol. Bioeng.*, **22**, pp. 969-979.

Bradford, M.M. (1976) A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding, *Analytical Biochemistry*, **72**, pp. 248-254.

Chen, Y., Yang, H. and Gu, G. (2001) Effect of Acid and Surfactant Treatment on Activated Sludge Dewatering and Settling. *Wat. Res.*, **35**, pp. 2615-2620.

Christensen, J.R., Sorensen, P.R., Christensen, G.L. and Hansen, J.A. (1993) Mechanism for Overdosing in Sludge Conditioning, *J. Environ. Eng. ASCE.*, **119**, pp. 159-171

Chu, C.P., Chang, Bea-Ven, Liao, G.S., Jean, D.S. and Lee, D.J. (2001) Observations on Changes in Ultrasonically Treated Waste-Activated Sludge, *Wat. Res.*, **35**, pp. 1038-1046.

Dubois, M., Gilles, K.A. and Hamilton, J.K. (1956) Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry.*, **28**, pp. 350-356.

Henning Ryssov-Nielsen M.S.C. (1975) The Role of Natural Extracellular Polymers in the Bioflocculation and Dewatering of Sludge, *Vatten.*, **31**, pp. 33-39.

Higgins, M.J. and Novak, J.T. (1997) The Effect of Cations on the Settling and Dewatering of Activated Sludge: Laboratory Results. *Water Environment Research.*, **69**, pp. 215-224.

Kato, A., Izaki, K. and Takahashi, H. (1971) Floc-Forming Bacteria isolated from Activated Sludge, *J. Gen. Appl. Microbiol.*, **17**, pp. 439-456.

King, R.O. and Forster, C.F. (1990) Effect of Sonication on Activated Sludge, *Enzyme Microb. Technol.*, **12**, pp. 109-115.

Li, D.H. and Ganczarczyk, J.J. (1990) Structure of Activated Sludge Flocs. *Biotechnology and Bioengineering.*, **35**, pp. 57-65.

Novak, J.T., Goodman, G.L., Pariroo, A. and Huang, J. (1988) The Blinding of Sludge during Filtration, *J. Water Poll. Control Fed.*, **60**, pp. 206-214.

Paker, D.G. et al. (1972) Biological Conditioning for Improved Sludge Filterability, *Ibid.*, **44**, pp. 2066.

Pavoni, J.L. et al. (1972) Bacterial Exocellular Polymers and Biological Flocculation, *Ibid.*, **44**, pp. 414.

Steiner, A.E., McLaren, D.A. and Forster, C.F. (1976) The Nature of Activated Sludge Flocs, *Wat. Res.*, **10**, pp. 25-30.

Urbain, V., Block, J.C. and Manem, J. (1993) Bioflocculation in Activated Sludge: An Analytical Approach, *Wat. Res.*, **27**, pp. 829-838.